

ОПТИМАЛЬНОЕ СКАНИРОВАНИЕ РАСТРА ПРИ ТЕКСТУРНОЙ ОБРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО ПРИЗНАКА

Паршин А.Ю., Паршин Ю.Н.¹

¹Рязанский государственный радиотехнический университет

ул. Гагарина, 59/1, Рязань, Рязанская обл. 390005, Россия

e-mail: parshin.a.yu@rsreu.ru, parshin.y.n@rsreu.ru

Аннотация — При обработке изображений, радиолокационном сканировании пространства, сканировании атомным силовым микроскопом и в ряде других случаях возникает задача выбора наилучшей траектории сканирования. Критерием оптимальности траектории при обработке изображений может быть ширина спектра получаемого при этом сигнала, а также качество восстанавливаемого после сканирования изображения. Поставлена задача повышения эффективности текстурной обработки изображения, когда в качестве текстурного признака выбран один из видов фрактальной размерности — корреляционная размерность. При расчете корреляционной размерности изображения применено упорядочивание элементов изображения и формирование векторов в псевдофазовом пространстве на основе теоремы Такенса. Упорядочивание элементов изображения произведено на основе построения оптимальной траектории сканирования растра по следующим критериям качества: минимум ширины спектра образующегося при сканировании сигнала, минимум корреляционной размерности, а также с использованием известных типовых траекторий сканирования. Получены результаты расчета фрактального текстурного признака при различных алгоритмах оптимизации траектории.

OPTIMAL SCAN OF RASTER FOR TEXTURAL PROCESSING OF DIGITAL IMAGES BASED ON FRACTAL PROPERTY

Parshin A.Yu., Parshin Yu.N.¹

¹ Ryazan State Radioengineering University

Gagarina str., 59/1, Ryazan, Ryazan region, 390005, Russian Federation

e-mail: parshin.a.yu@rsreu.ru, parshin.y.n@rsreu.ru

Abstract — Problem of optimal scan trajectory appears in cases of image processing, radar sense of space, atomic force microscope, etc. Criterion of trajectory optimality for image processing may be bandwidth of obtained signal and quality of image, restored after scan. There is a problem of increasing of image textural processing effectiveness, when one of approaches to fractal dimension — correlation dimension — is chosen as textural property. Calculation of correlation dimension is performed using image elements ordering and creating vectors in pseudophase space by Takens theorem. Image element ordering is performed based on creating optimal trajectory of raster scan by following quality criteria — minimum of signal bandwidth, minimum of correlation dimension — and using already known trajectories. Results of fractal textural property calculation are obtained for different algorithms of scan trajectory optimization.

I. Введение

Одним из распространенных способов извлечения информации из цифровых изображений, получаемых радиолокационной станцией с синтезированием апертуры антенны (РСА), является текстурная обработка [5-7]. При этом изображение разбивается на несколько отдельных кадров, по данным каждого из которых выполняется вычисление текстурного признака. При этом становится возможным сжатие изображения путем замены кадра соответствующим значением текстурного признака. В этом случае снижается разрешение изображения, но сохраняется необходимая информация об объектах.

Альтернативой вышеуказанным методам являются несколько статических и адаптивных методов сканирования, называемых кривыми, заполняющими пространство. Эти методы созданы для сохранения корреляционных связей между пикселями при выстраивании их в линейную последовательность. Изображение полностью покрывается кривыми, траектория сканирования выбирается отдельно для каждого изображения. При использовании статических методов выбирается одна кривая для всего изображения, она не меняется для различных кадров. Адаптивные методы

позволяют менять вид кривой в зависимости от кадра и свойств пикселей в пределах этого кадра [4].

Среди кривых, заполняющих пространство, существуют класс кривых, которые имеют фрактальные свойства. Одной из них является кривая Гильберта (Пеано), показанная на рисунке 1.

Фрактальные свойства и параметры, представляющие их, являются многообещающими среди других текстурных признаков. Такие параметры численно оцениваются значением фрактальной размерности [1-2]. Тем не менее кривая Гильберта имеет предварительно определенную траекторию, которая не меняется в зависимости от корреляции между пикселями.

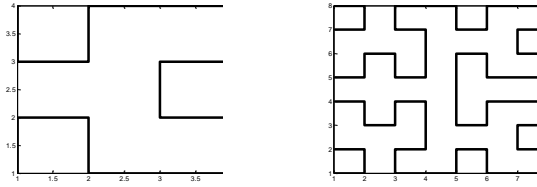


Рисунок 1. Кривая Гильберта различных порядков.

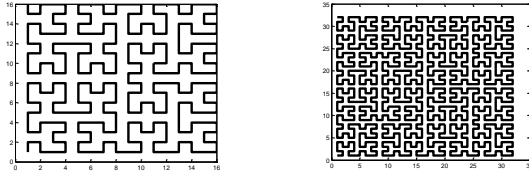


Рисунок 1. Кривая Гильберта различных порядков (продолжение).

Целью работы является повышение эффективности текстурной обработки изображения с использованием фрактальных свойств анализируемого фрагмента изображения, а также алгоритма оценивания фрактальной размерности, оптимального по критерию максимального правдоподобия. Усовершенствование методов и алгоритмов выполняется путем учета статистической и геометрической зависимости данных. Кроме того, предложены алгоритмы сканирования данных в пределах кадра изображения.

II. Оценивание корреляционной размерности

Наиболее точные оценки корреляционной размерности получаются при использовании метода максимального правдоподобия [8, 9]. Основные этапы алгоритма приведены в работе [10]. При условии нормировки расстояний $r_m = l_m / l_{\max}$, $m = 1, \dots, M$ закон распределения вероятности расстояний между векторами, которые имеют корреляционную размерность равную d , имеет вид $F(r) = r^d$, а плотность распределения вероятностей $w(r) = \frac{dF(r)}{dr} = d \times r^{d-1}$, $0 < r < 1$ [11].

В работе [8] многомерная плотность распределения вероятностей получена при условии, что измеренные расстояния между векторами в псевдофазовом пространстве являются статистически независимыми. В предположении, что измеренные значения расстояний между векторами в псевдофазовом пространстве статистически независимыми, в работе [9] получена многомерная плотность распределения вероятностей (1), которая также является функцией корреляционной размерности D , а значит и функцией правдоподобия. Максимально правдоподобная оценка корреляционной размерности равна:

$$\hat{D} = \arg \max_{0 < D < D_E} w(\mathbf{r} / D) = - \frac{M}{\sum_{m=1}^M \ln r_m},$$

Термин «зависимые расстояния» означает, что положения всех векторов, кроме первого, определяются расстояниями от первого вектора. Расстояния от первого вектора до остальных являются независимыми, а все остальные – зависимыми.

При условии, что все M расстояний $\mathbf{r} = \{r_m, m = 1, \dots, M\}$ между векторами независимы, а корреляционная размерность равна D совместная плотность распределения вероятностей расстояний имеет вид [9]:

$$w(\mathbf{r} / D) = \begin{cases} \prod_{m=1}^M D r_m^{D-1}, & \mathbf{r} \in [0, 1) \\ 0, & \mathbf{r} \notin [0, 1) \end{cases} \quad (1)$$

Совместная плотность распределения вероятностей для независимых расстояний от второго вектора до остальных имеет вид:

$$w_2(\mathbf{r}_2 / \mathbf{r}_1, D) = \begin{cases} \prod_{m=N}^{2N-3} \frac{D}{r_{\max k} - r_{\min k}} (r_m - r_{\min k})^{D-1}, & r_m \in [r_{\min k}, r_{\max k}), k = 3, \dots, N \\ 0, & r_m \notin [r_{\min k}, r_{\max k}), k = 3, \dots, N, \\ & m = N + k - 3. \end{cases}$$

Оптимальные оценки корреляционной размерности должны учитывать как статистическую, так и геометрическую зависимости векторов, что отражено в функции правдоподобия (2). Максимально правдоподобная оценка получается в результате решения оптимизационной задачи:

$$\hat{D} = \arg \max_{0 < D < D_E} w_{12}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2 / D).$$

Максимально правдоподобная оценка получается путем приравнивания первой производной нулю:

$$\hat{D} = -(3N - 3) \left[\sum_{m=1}^{N-1} \ln r_{1m} + \sum_{m=N}^{2N-3} \ln (r_m - r_{\min k}) \right]^{-1}$$

III. Сканирование по критерию максимума коэффициента корреляции

Необходимо выбрать модель для аппроксимации изображений, используемых для обработки. Основным критерий выбора модели – обеспечение максимального соответствия параметров модели и изображения. Фрактальное броуновское движение (ФБД) широко используется в качестве модели хаотического сигнала. Отсчеты ФБД формируются одним из известных методов [3] и характеризуются интенсивностью σ^2 и показателем Херста H . Дисперсия приращений ФБД в диапазоне времени $t_2 - t_1$ равна $\sigma^2 |t_2 - t_1|^{2H}$, а корреляция

приращений в различных диапазонах времени описывается выражением:

$$M\{(X(t_2) - X(t_1))(X(t_4) - X(t_3))\} = \\ = 0,5\sigma^2 [-(t_2 - t_4)^{2H} + (t_2 - t_3)^{2H} + (t_1 - t_4)^{2H} - (t_1 - t_3)^{2H}].$$

Предлагается выполнять считывание пикселей изображения путем непосредственного формирования координат векторов. Выбор направления считывания выполняется по максимуму корреляции координат выбранного вектора с предыдущим. Алгоритм формирования вектора следующий:

- первый вектор состоит из трех пикселей изображения в первой строке;
- от последнего пикселя рассматривается 32 варианта направления вектора из трех координат;
- вычисляется коэффициент корреляции для пары векторов – предыдущего и каждого из рассматриваемых 32 вариантов – по формуле:

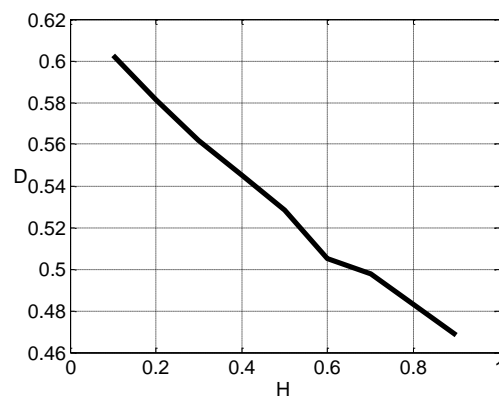
$$R_{X,Y} = \frac{M[XY] - M[X]M[Y]}{\sqrt{(M[X^2] - (M[X])^2)(M[Y^2] - (M[Y])^2)}}$$

где X, Y – координаты пары векторов, $M[\bullet]$ – знак оконного усреднения;

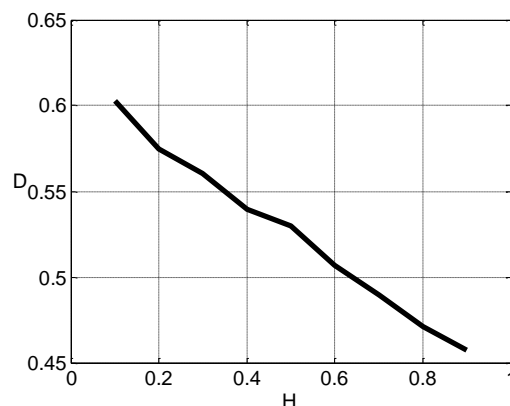
- по максимальному значению выбираются координаты вектора и направление движения;
- выполняется переход на новый пиксель, который является концом выбранного вектора.

В работе рассмотрено несколько направлений для считывания. Наиболее простым способом является выбор 8 направлений: влево, вправо, вверх, вниз, влево-вверх, вправо-вверх, вправо-вниз, влево-вниз. Однако, таким образом остаются 8 недействительных пикселей в данной итерации. Кроме того, при небольшом количестве вариантов повышается вероятность «зацикливания», то есть равенства координат вектора на двух различных итерациях. Это приводит к повторному учету пикселей в расчете, а значит и повышение погрешности при оценке размерности. Поэтому принято решение о выборе 32 вариантов всех возможных комбинаций из трех пикселей, начинающихся в центре квадрата 5x5 пикселей и заканчивающихся на его границе. Данное решение позволяет перебрать все варианты и снизить вероятность «зацикливания». Тем не менее такого эффекта можно избежать, вручную исключая повторяющиеся координаты векторов.

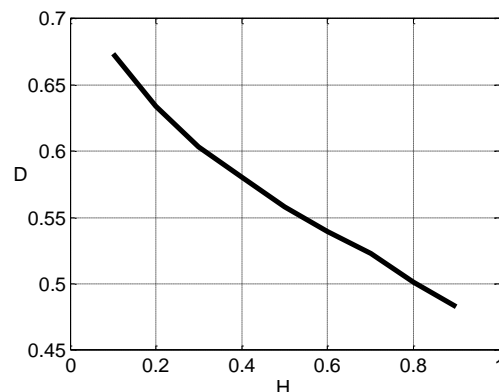
Исследование выполнено путем сравнения результатов оценивания корреляционной размерности при использовании различных методов сканирования: по горизонтали, по вертикали, по диагонали, по спирали, по кривой Гильберта и с использованием критерия максимального коэффициента корреляции. Результаты оценивания представлены на рисунке 2 в виде зависимостей значения оценки корреляционной размерности от величины показателя Херста.



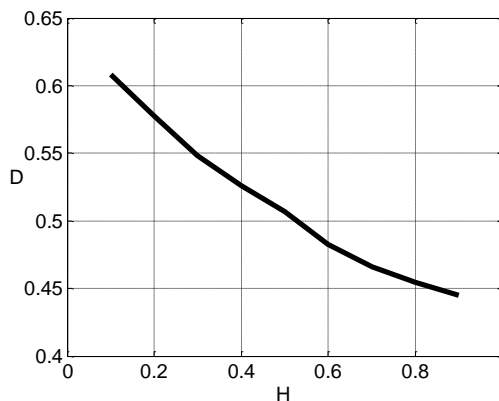
Зависимость D от H, сканирование по горизонтали



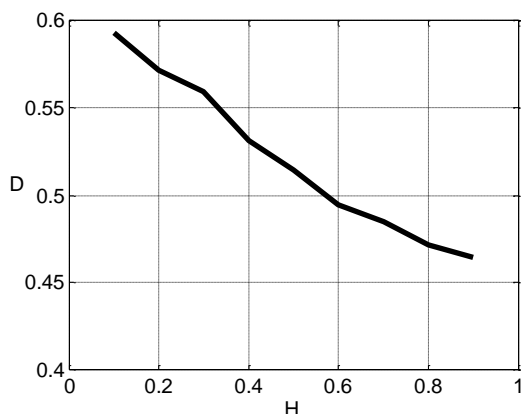
Зависимость D от H, сканирование по вертикали



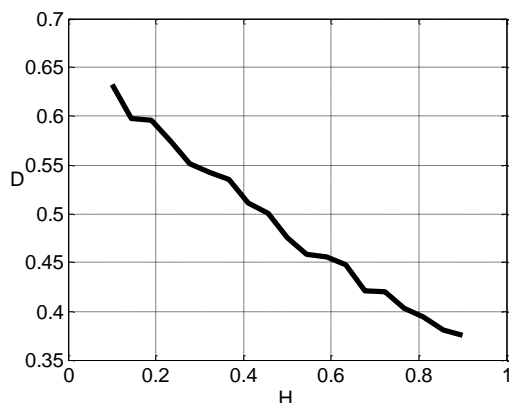
Зависимость D от H, сканирование по диагонали



Зависимость D от H, сканирование по кривой Гильберта



Зависимость D от H, сканирование по спирали



Зависимость D от H, сканирование по критерию максимума коэффициента корреляции

Рисунок 2. Зависимости оценки корреляционной размерности от значения показателя Херста

VI. Заключение

Результаты анализа предложенного алгоритма сканирования показали, что применения максимально правдоподобного алгоритма требует обеспечения максимальной корреляции между пикселями изображения при выстраивании их в одномерную последовательности. Сканирование по критерию максимума коэффициента корреляции обеспечивает большее различие между значениями оценок корреляционной размерности, что облегчает решение задачи обнаружения объектов на изображении по сравнению с другими рассмотренными методами сканирования.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 14-19-01263) в Рязанском государственном радиотехническом университете.

V. Литература

- [1] Yu.G. Sosulin, A.B. Russkin, "Fractal Detection of Extensive Low in Contrast Objects in Images", *Radiotekhnika*, 2009, № 12, pp. 48-57.
- [2] A.A. Potapov, *Fractals in Radio Physics and Radiolocation: Selection Topology*. Moscow: Universitetskaya kniga, 2005.
- [3] R.M. Crownover, *Introduction to Fractals and Chaos*. Jones and Bartlett, 1995.
- [4] T. Ouni, M. Abid, *Scan methods and their application in image compression*. International Journal of Signal

Processing, Image Processing and Pattern Recognition, vol. 5, No. 3, 2012, pp. 49-63

- [5] R. Gonzales, R.Woods, *Digital Image Processing*. Prentice Hall, 2007. 976 p.
- [6] W. Pratt, *Digital Signal Processing*. Wiley-Interscience, 2007. 812 p.
- [7] *A Newest Methods of Processing Images*. Edited by A.A. Potapov. Fizmatlit, Moscow, 2008. 496 p.
- [8] Luciana De Luca, Dario Luzio, Massimo Vitale, "A ML Estimator of the Correlation Dimension for Left-hand Truncated Data Samples.", *Pure and applied geophysics*, vol.159, pp. 2789-2803, 2002.
- [9] A. Yu. Parshin, Yu. N. Parshin, "Usage of non-Gaussian statistics for RF signals detection by complex energy and fractal detector," *International radar symposium, IRS 2013, Proceeding*, vol. I, II, pp. 779-784, Drezden, Germany, German institute of navigation, 2013.
- [10] A. Yu. Parshin, Yu. N. Parshin, "Analysis of maximum likelihood estimation of fractal dimension by independent and dependent data", *5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, 2016, pp: 172 – 175.
- [11] Takens F. "Detecting Strange Attractors in Turbulence", *Lecture Notes in Mathematics*, vol. 898, 1981, pp. 366-381.